

# TiNi 合金の形状記憶処理

大 崎 英 樹\*・三 宅 仁\*\*

## Shape Memory Treatment of the Ti-Ni Alloy

Hideki OHSAKI, Hitoshi MIYAKE

For the medical and welfare robots' actuators, we have developed the artificial muscle using the Shape Memory Alloy (SMA), which is an alloy material of superelastic, of soft, and of excellent power weight ratio. Instead of these characteristics, the commercially available one has not satisfied our purpose. So in this report, non-treatment TiNi alloy treatment by various treatment conditions of temperature and of duration was described. Consequently the best treatment condition, 500°C and 30 minutes in the air, was revealed to satisfy our purpose.

**Key words :** Shape Memory Alloy (SMA), TiNi alloy, shape memory treatment, actuator, transformation temperature

### 1. 目 的

我々は、柔軟な性質を持ちパワーウエイトレシオに優れた形状記憶合金 (Shape Memory Alloy, 以下 SMA) を医用・福祉用ロボットのアクチュエータとして開発を進めてきたが、市販の形状記憶合金がなされたものはややこの目的には不十分と考えられた。そこで、我々の研究目的に合致する形状記憶合金とするため、未処理の TiNi 合金線を様々な条件で記憶処理を行い、記憶特性の評価を行った。

### 2. 形状記憶処理方法

形状記憶合金を記憶処理するには冷間加工によって十分に加工硬化している材料を所定の形状に成形固定し、一定時間加熱保持する方法と、溶体化処理によって、完全に焼鈍後、室温で所定の形状に成形し、200~300°C で一定時間加熱保持する方法などがある。そこで我々は、入手した素線径0.5mm の TiNi ワイヤに、以下のような方法で熱処理を行った。焼鈍は円筒形状の治具の外周に円周方向に固定し、大気中700°C 1時間保持後炉冷するものとし、形状記憶処理は、治具により直線に拘束し、大気中200°C, 300°C, 400°C, 500°C

の各温度で30分保持後炉冷するものとする。

これらの組み合わせで以下のような記憶処理条件を設定し、記憶処理を行った。

[試料名] [記憶処理条件]

H7 材	焼鈍のみ
1A 材	焼鈍後, 500°C 0.5H 保持後炉冷
1B 材	〃 400°C 0.5H 保持後炉冷
1C 材	〃 300°C 0.5H 保持後炉冷
1D 材	〃 200°C 0.5H 保持後炉冷
2A 材	500°C 0.5H 保持後炉冷のみ
2B 材	400°C 0.5H 保持後炉冷のみ
2C 材	300°C 0.5H 保持後炉冷のみ
2D 材	200°C 0.5H 保持後炉冷のみ
F9 材	従来使用の Af 点92°C の材料

なお、入手した TiNi ワイヤの成分は、Ni : 55.09 wt%, C : 0.042wt%, N : 38ppm, O : 623ppm であり、冷間加工率は17%であった。

### 3. 記憶特性の評価

形状記憶合金を使用する際に考慮すべき性質として、変態温度、加熱・冷却特性、応力、歪み、弾性定数、繰り返し特性、疲労特性などがある。特に、我々の利用目的であるアクチュエータとして用いるとき、変態温度、加熱・冷却特性、繰り返し特性、疲労特性

原稿受付：平成6年6月20日

\*長岡技術科学大学機械システム工学専攻

\*\*長岡技術科学大学体育保健センター

が重要となる。そこで、温度と変位を測定し、変態点を推定するとともに、温度・変位特性ならびに繰り返し数による変位の変化を求め、評価する。また、比較材として従来使用の F9材 (Af 変態点92℃) を用いる。

### 3.1 実験装置

Fig. 3-1 に測定に使用する実験装置の概要を示す。加熱、冷却によって生じた変位は、リニア型ポテンシオメータにより、また、温度は熱電対により直流電圧で出力させ、A/D ボードを通してパーソナルコンピュータに取り込む。ワイヤはコンピュータで制御された PWM 電源装置により加熱する。

### 3.2 試験 1：温度－変位特性試験

#### (1) 実験方法

以下に、温度－変位特性の実験方法を示す。

(a) 長さ約130mm の SMA ワイヤを標点間距離100 mm で実験装置に取り付ける。

(b) ワイヤの中央部に K 型 (CA) 熱電対を固定する。

(c) 初回のみ、ワイヤに室温で 5 % の予歪みを与える。

(d) 負荷 M (5N, 25N) を取り付け、DUTY 比0.4 で 2 ～ 4 秒間加熱する。加熱時間は予備実験により変態が完了するように決めておく。

(e) 放冷によって変位が落ちつくまでワイヤ温度と変位データをコンピュータに取り込む。

(f) (e)を繰り返す。

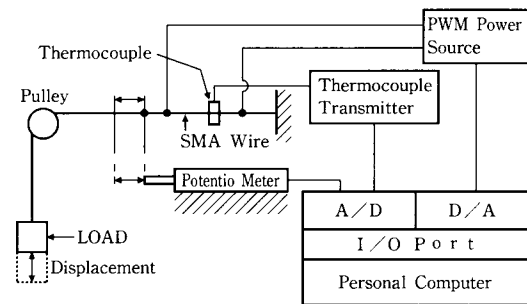


Fig. 3-1 実験装置図

#### (2) 結果

まず、2A, 2B, 2C, 2D 材は、5N の負荷では数回の加熱で収縮が不能になってしまい、実験が継続できなかった。また、変態点を測定するには、無負荷による

実験が望ましいが、SMA が伸展にバイアス力を必要とする性質と、実験装置の構造上無負荷状態での動作が難しく不可能であった。Fig. 3-2 に時間－変位、時間－温度特性を示す。F9材に比べて記憶処理を行った材料は、全体に変態温度が低く、そのために収縮時の立ち上がりが速いことがわかる。また、収縮量も同レベルのものが得られている。Fig. 3-3 に温度－変位ループを示す。この図における変位ループは、負荷時の変態曲線を表す。また、測定した変態温度を Table 3-1 に示す。

Table 3-1, 各試料の変態温度 [℃] (負荷5N)

	As	Af	Ms	Mf
F9	43	58	37	25
H7	29	46	30	20*
1A	29	46	32	21*
1B	32	48	30	22*
1C	30	47	29	22*
1D	28	47	21	23*

(負荷25N)

	As	Af	Ms	Mf
F9	34	62	42	23
2A	32	57	38	22
2B	28	50	29	18
2C	23	47	33	20
2D	21	45	31	17

\*は、冷却が不十分で、推定値。

As 点：逆変態開始温度

Af 点：逆変態完了温度

Ms 点：マルテンサイト変態開始温度

Mf 点：マルテンサイト変態完了温度

Fig. 3-4 に繰り返し数と収縮量の関係(冷却時60℃)を示す。この結果、全ての試料が、20回程度のトレーニングで安定した変位が得られることがわかった。

### 3.3 試験 2：トレーニング特性試験

試験 1 の結果から、2A 材は、トレーニングなしでは 5N 程度の軽負荷では動作ができないが、25N の負荷の時のワイヤの伸びが比較的小さく、トレーニングによっては、5N 程度での動作が可能と見込まれたので、トレーニングの条件を設定し、トレーニングの効果について実験した。

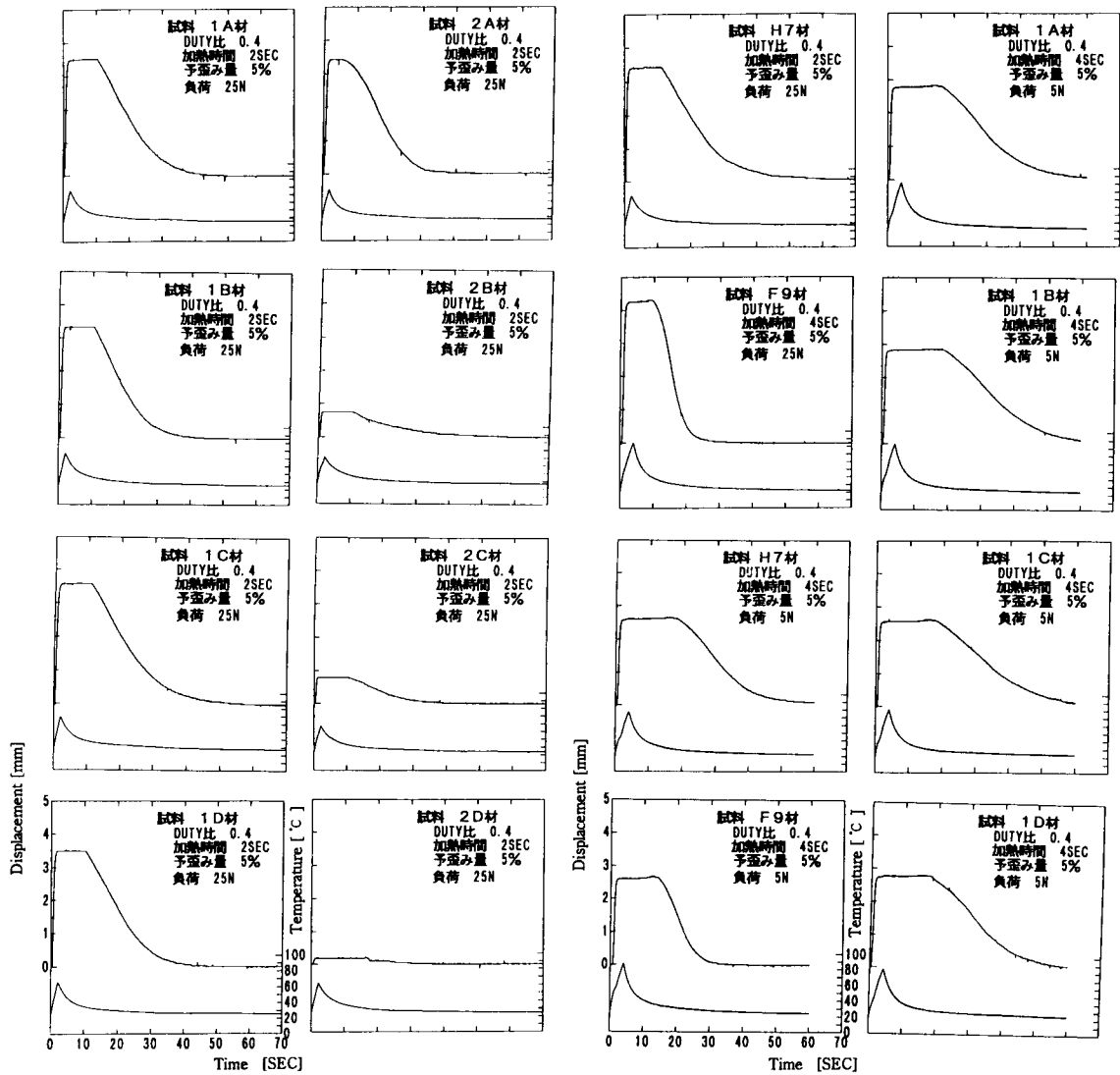


Fig.3-2 Time-Displacement and Time-Temperature Curve

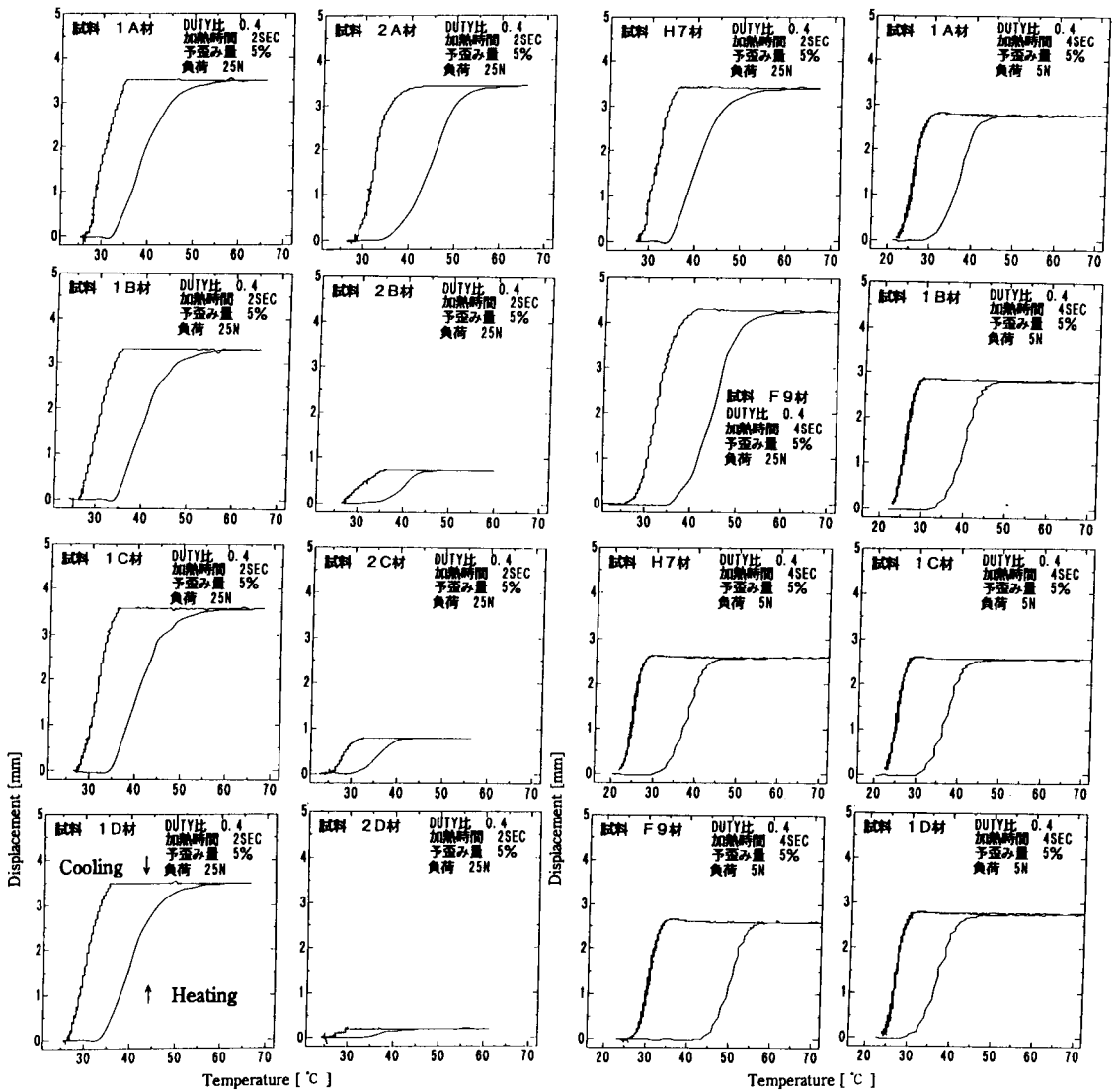


Fig.3-3 Temperature-Displacement Loop

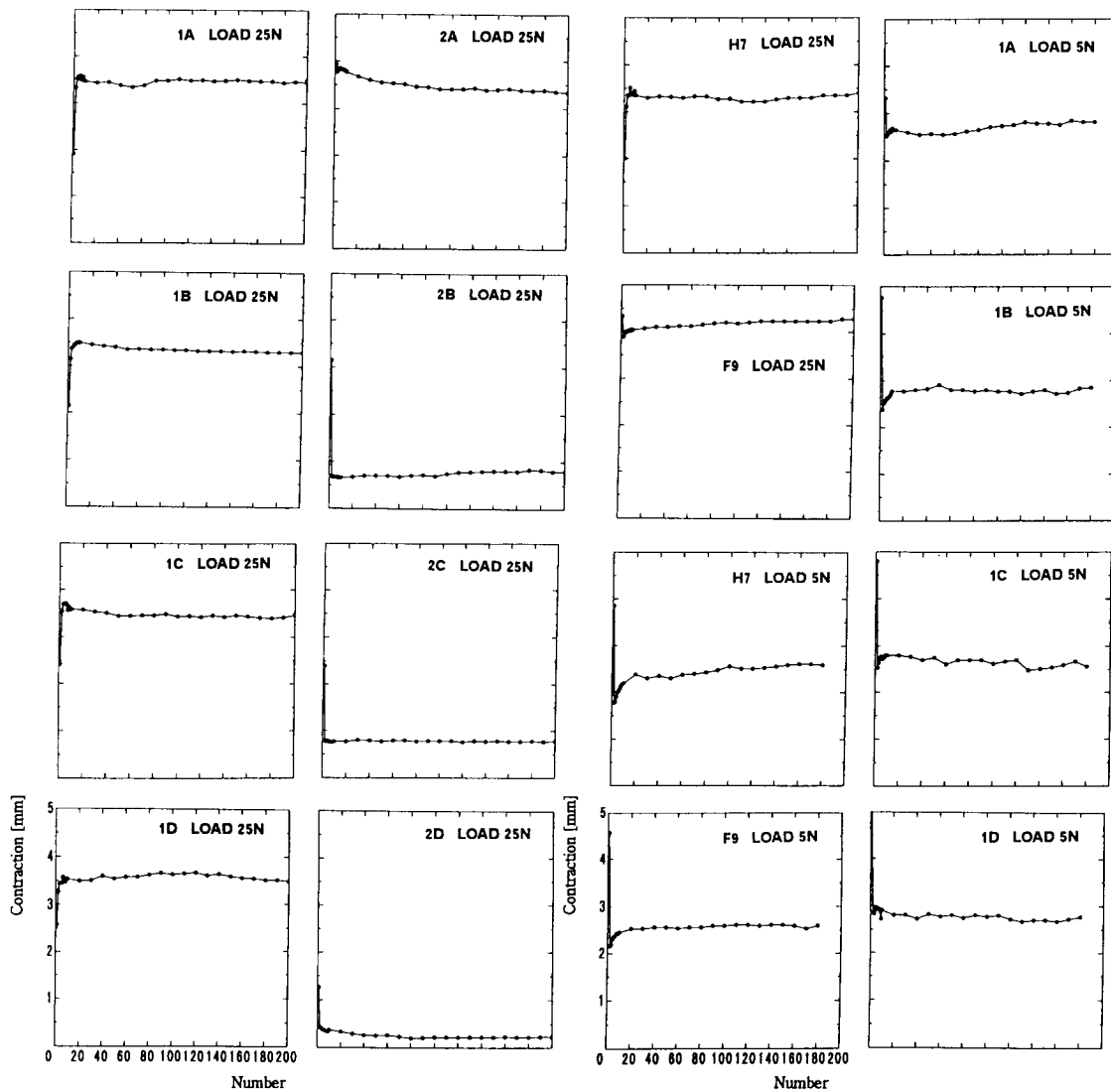


Fig. 3-4 Number-Contraction Length Curve

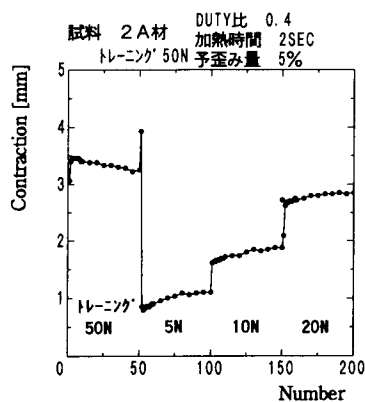
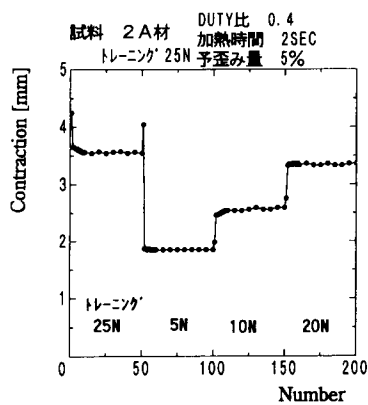


Fig. 3-5 Training Effect

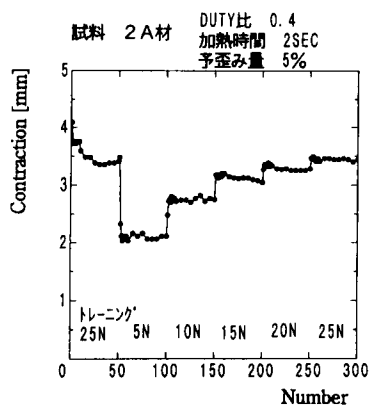


Fig. 3-6 Training Effect

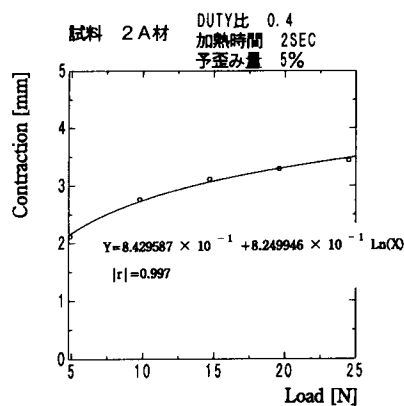


Fig. 3-7 Load-Contraction Length Curve  
(Training Load : 25N)

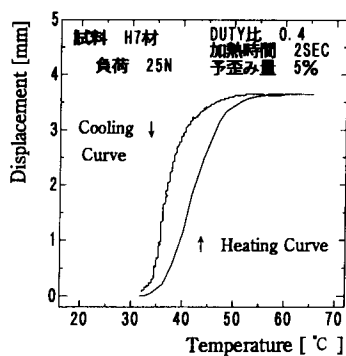


Fig. 3-8 Temperature-Displacement Loop

## (1) 実験方法

(a) 試験1の(a)~(c)と同様の手順で実験装置にSMAワイヤをセットする。

(b) トレーニング条件として、25N、50Nの2種類の負荷について、DUTY比0.4で、2~4秒間加熱、冷却（常温付近まで放冷）を50回繰り返す。

(c) トレーニング後の試料を、5N、10N、20N（または、5N、10N、15N、20N、25N）の負荷について各50回ずつ同様に加熱、冷却を繰り返す。

(d) この間のワイヤの温度と変位を測定する。

## (2) トレーニング特性

25Nと50Nによるトレーニング効果をFig.3-5に示す。50Nによるトレーニングでは得られる変位が小さく、また、安定した効果が得られないことがわかった。また、Fig.3-6は25Nによるトレーニング効果について負荷の大きさの刻みを変えた時のもので、トレーニングで覚えた変位量が基本的にそのワイヤの安定な出力の範囲であるといえる。Fig.3-7にトレーニング後の負荷と収縮量の関係を示す。

## 3.4 疲労特性

2A材がトレーニングによって実用的であるとわかる前に、有望視していたH7材について、以下の条件で疲労試験を行っている。

## (1) 実験方法

(a) 試験1の(a)~(c)と同様の手順で実験装置にSMAワイヤをセットする。

(b) 負荷25N、DUTY比0.4で2秒加熱、放冷の条件を30秒間隔で繰り返す。

(c) この間の温度と変位を測定する。

## (2) 繰り返し特性

10\*回近い繰り返しで24mmのワイヤの伸びがあるが、収縮量は安定しており、また、外観上のくびれなどは生じていない。継続して試験を行う。Fig.3-8に温度-変位ループを示す。

## 4. ま と め

まだ明らかにしなければならない特性はいくつかあるが、簡単な記憶処理とトレーニングによって、かなり実用的な形状記憶処理ができた。今回の実験から、我々の必要とする特性を得るためには、大気中で500℃、30分程度の加熱でよいと思われる。また、他にバネ形状記憶の試料があるので今後の課題とする。

## 謝 辞

記憶処理に際し、機械系小島研究室の協力を得た。記して謝辞とする。

## 参 考 文 献

- 1) Hitoshi Miyake: Artificial muscle based on the idea of a shape memory alloy sarcomere, Artif. Organs Today, 1 (4), 295/301, 1991
- 2) 三宅 仁: 仮想現実感を伴う人工腕の研究, 人工臓器, 23(3), 872/877 (1994)
- 3) 形状記憶合金とその使い方 (形状記憶合金用途開発委員会編), 日刊工業新聞社, (1987)
- 4) 田中喜久昭, 戸伏壽昭, 宮崎修一: 形状記憶合金の機械的性質, 養賢堂, (1993)